

IX-084 - COMPARACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD IS Y DRASTIC EN EL ACUÍFERO DE LOS MONTES TOROZOS

Germán Sanz Lobón⁽¹⁾

Doctor Ingeniero de Minas por la Universidad de Vigo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Investigador en la Universidade Federal de Goiás en la Escola de Engenharia Civil, vinculado a la gestión de recursos hídricos y análisis de vulnerabilidad y riesgos e impactos ambientales mediante técnicas geostatísticas y herramientas GIS.

Paulo Sérgio Scalize

Dr. Engenheiro Civil, Professor EEC-UFG (Brasil)

Maria Teresa Durães Albuquerque

Dra. Engenheira de Minas, Professora IPCB (Portugal)

Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes

Dra. Geologia, Professora IPCB (Portugal)

Roberto Martínez Alegría-López

Dr Ingeniero de Minas, Professor UEMC (España)

Endereço⁽¹⁾: Avenida Universitária, 1488 – Campus Colemar Natal e Silva. GO. CEP 74605 – Setor Universitario - Brasil - Tel: +55 (62) 3209-6257 - e-mail: manger84@gmail.com.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar y comparar los resultados obtenidos de la aplicación de dos índices de vulnerabilidad. Por un lado la vulnerabilidad extrínseca, será valorada aplicando el Índice de Susceptibilidad (IS) (Ribeiro et al., 2003); mientras que la vulnerabilidad intrínseca se estimará mediante el Índice DRASTIC (Aller et al., 1987) en un acuífero libre de naturaleza calcárea en el centro oeste da Península Ibérica (España). Este estudio espacial de vulnerabilidad permite la identificación de las áreas donde los recursos hidrogeológicos presentan una mayor probabilidad de contaminación en función de los procesos de contaminación puntual y/o difusa.

La metodología implementada, para el cálculo de los diferentes atributos, se realizó usando la herramienta Calculadora Raster de programas informáticas de Sistemas de Información Geográficas (SIG) (ESRI, 2014). Los mapas resultantes, permitieron visualizar las áreas donde se concentra la mayor actividad antrópica, que coinciden con la localización del aeropuerto, una estación de transformación eléctrica y una autovía.

PALARAS CLAVE: Hidrogeologia, vulnerabilidade intrínseca, vulnerabilidade extrínseca, riscos naturais.

RESUMO

O estudo espacial da vulnerabilidade permite identificar áreas onde os recursos hidrogeológicos apresentam uma maior probabilidade de degradação, especificamente quanto aos processos de contaminação, quer tónica como difusa. Nesse estudo foi determinado e comparado os resultados obtidos pela aplicação do Índice de Susceptibilidade (IS) (Ribeiro et al., 2003) e o Índice DRASTIC (Aller et al., 1987) a um aquífero, não confinado e cársico, localizado em Espanha.

A implementação metodológica, para o cálculo foi efetuado em um Sistema de Informação Geográfica (ESRI, 2014), onde foi construído um mapa para cada um dos sete atributos e recorrendo-se, em seguida, à função *Raster Calculator* para a construção dos mapas de síntese, referente à cartografia da vulnerabilidade intrínseca (DRASTIC) e da vulnerabilidade extrínseca (IS), permitindo visualizar as áreas onde estão concentradas as mais importantes atividades antrópicas, coincidindo com as áreas do aeroporto, uma subestação elétrica e uma rodovia.

PALAVRAS CHAVE: Hidrogeologia, vulnerabilidade intrínseca, vulnerabilidade extrínseca, riscos naturais.

INTRODUCCIÓN

Desde la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (Consejo Europeo, 2000) y su trasposición al ordenamiento legislativo de cada uno de los miembros. Ha surgido la necesidad dentro de los Planes Hidrológicos de Cuencas Internacionales, que son los instrumentos básicos de planificación y gestión de los recursos hídricos en España, de evaluar la vulnerabilidad de cada una de las masas de agua identificadas, tanto subterránea como superficial.

En el caso del acuífero libre de los Montes Torozos, el órgano nacional competente de su gestión es la Confederación Hidrográfica del Duero, y el documento básico de gestión es el Plan Hidrológico del Duero. El trabajo fue desarrollado en el marco del Plan de 2009 (Confederación Hidrográfica del Duero, 2009), pero actualmente esta versión está siendo revisada con el fin de presentar el Plan de 2015. En el documento de 2009 se atribuye a la masa de agua de los Montes Torozos una vulnerabilidad intrínseca a toda la masa de agua sin profundizar en su distribución espacial.

La Unidad hidrogeológica de los Montes Torozos se sitúa dentro de la Cuenca Terciaria del Duero, en el centro-oeste de la Península Ibérica, ocupa una superficie de aproximadamente 1000 km² (Figura 1) con una población que supera los 47.000 habitantes. El clima es de tipo mediterráneo seco, caracterizado por una temperatura media de 11,14 °C, una precipitación anual media de 456 mm, una evapotranspiración anual real de 312 mm, lo que supone una precipitación útil de 178 mm/año. Del total de la lluvia útil una parte se infiltra en el acuífero arrastrando hasta el nivel freático todas las sustancias peligrosas y potencialmente contaminantes presentes en el suelo en función de sus características químicas e dimensión.

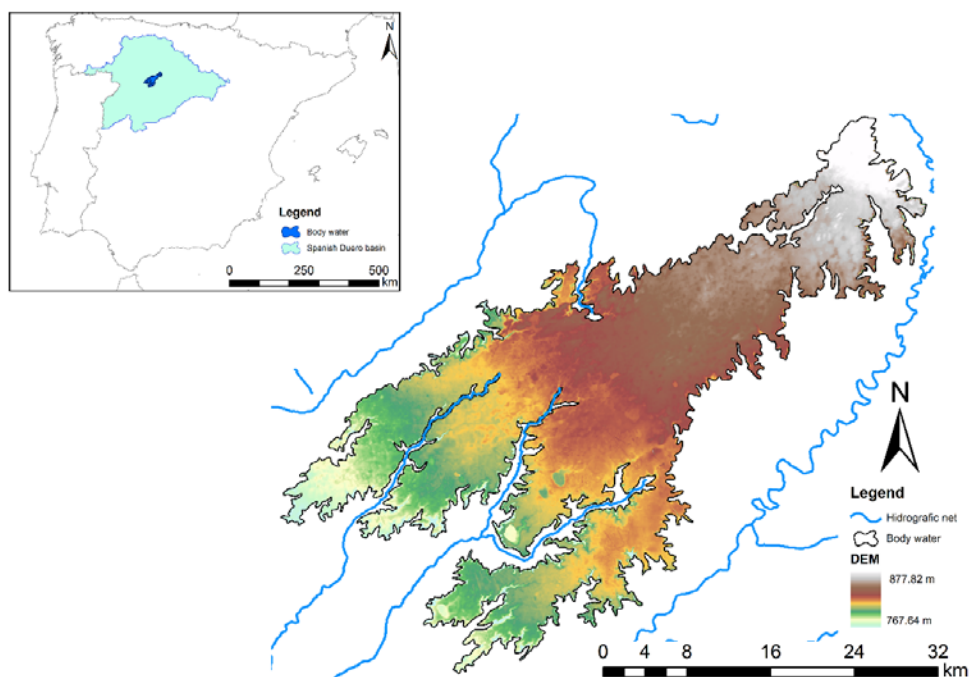


Figura 1: Localización del acuífero libre Kárstico, del Páramo de los de Montes Torozos, España.

Geológicamente el acuífero kárstico presenta un leve basculamiento NE-SW; la litoestratigrafía está constituida por una superficie tabular calcárea asentada a muro sobre una capa de materiales impermeables de origen detrítico y evaporítico (Facies Cuestas) (SIEMCALSA, 1997).

La Facies de las Cuestas constituye el substrato inferior a las calizas, se trata de una serie de materiales blandos arcillosos margoso-yesíferos. Las calizas son de color gris, duras y con una estructura microcristalina, y se encuentran en bancos de espesor variable separados por intercalaciones margosas. Los procesos neotectónicos del Plioceno son sincrónicos con la sedimentación de las calizas, lo que genera como resultado el rejuego de dos grandes fracturas que se reflejan en alineamientos en los materiales sedimentarios del Mioceno-Plioceno (Sanz, 2014).

Hidrogeológicamente la unidad tiene un espesor saturado entre 6 y 10 m, aunque en algunas zonas pueda llegar alcanzar los 30 m. Al tratarse de una masa de agua colgada, la recarga se produce principalmente por la precipitación (aunque existe un volumen precedente de los retornos de riego); y la descarga se produce por el drenaje perimetral a través de manantiales y pequeños arroyos, y por las extracciones mediante pozos dedicados al abastecimiento, la agricultura y la ganadería principalmente. De esta forma el caudal de la red hidrográfica que drena el páramo se va a ver condicionado por el volumen sustraído, lo que supone un descenso rápido de los niveles freáticos, dando lugar a una baja capacidad autoreguladora.

En el presente trabajo se presenta un estudio de vulnerabilidad intrínseca, usando el índice DRASTIC, y de vulnerabilidad extrínseca, mediante el Índice de Susceptibilidad (IS).

METODOLOGÍA

La metodología usada, se basa en el cálculo de diferentes atributos mediante herramientas desarrolladas en un Sistema de Información Geográfico de ArcGis (ESRI, 2014). Sobre ésta plataforma fue construida la base de datos espaciales necesaria para la elaboración de cada una de las cartografías necesarias de cada atributo. Respecto a las operaciones de cálculo para la elaboración de los mapas de síntesis finales de los índices se usó la función *Raster Calculator*.

Partiendo de la identificación de las áreas más vulnerables, obtenidas con la aplicación del índice DRASTIC (Figura 2) se determinó el IS usando la ecuación 01, con los factores de ponderación de la tabla 1 (Figura 3).

$$IS = D_i \times D_p + R_i \times R_p + A_i \times A_p + T_i \times T_p + US_i \times US_p \quad \text{Eq. 01}$$

Las letras de los parámetros, derivan del acrónimo DRASTIC, y responde a cada uno de los parámetros que tiene en cuenta en su idioma original: *Depth to water (D)*, *net Recharge (R)*, *Aquifer media (A)*, *Soil media (S)*, *Topography (T)*, *Impact of vadose zone (I)* e *hydraulic Conductivity (C)*. El índice se calcula a través de una ecuación, en la cual los diferentes atributos o parámetros están tabulados y poseen un peso específico (Aller et al., 1987). En el caso del Páramo de los Montes Torozos, los valores adoptados para cada variable fueron obtenidos experimentalmente y de referencias bibliográficas (Sanz et al., 2014).

Respecto al Índice de Susceptibilidad (Ribeiro et al., 2003), este es una simplificación de la componente hidrogeológica considerada por DRASTIC, tratando de disminuir su importancia mediante la eliminación de algunos parámetros que pueden llegar a ser redundantes, a la vez que introduce una nueva variable, los usos del suelo. Este nuevo parámetro permite introducir la componente humana al modelo de cálculo de la vulnerabilidad de aguas subterráneas con base al mapa de usos de suelo de *Corine Land Cover 2006* (European Environment Agency, 2012). Su expresión matemática y los pesos que afectan a las variables se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Pesos específicos de los parámetros (atributos) del IS.

Letra	Fator de Ponderação
D	0,186
R	0,212
A	0,259
T	0,121
US	0,222

La comparación entre los dos índices permitió identificar las áreas con mayor actividad antrópica y de esta forma, determinar aquellas que presenten un mayor riesgo de contaminación. La comparación entre los mapas de vulnerabilidad intrínseca (DRASTIC) e extrínseca (IS) permite a la identificación de zonas “calientes”, es decir con alto riesgo, y zonas “frías” de menor riesgo frente a procesos de contaminación originados por las actividades antrópicas locales.

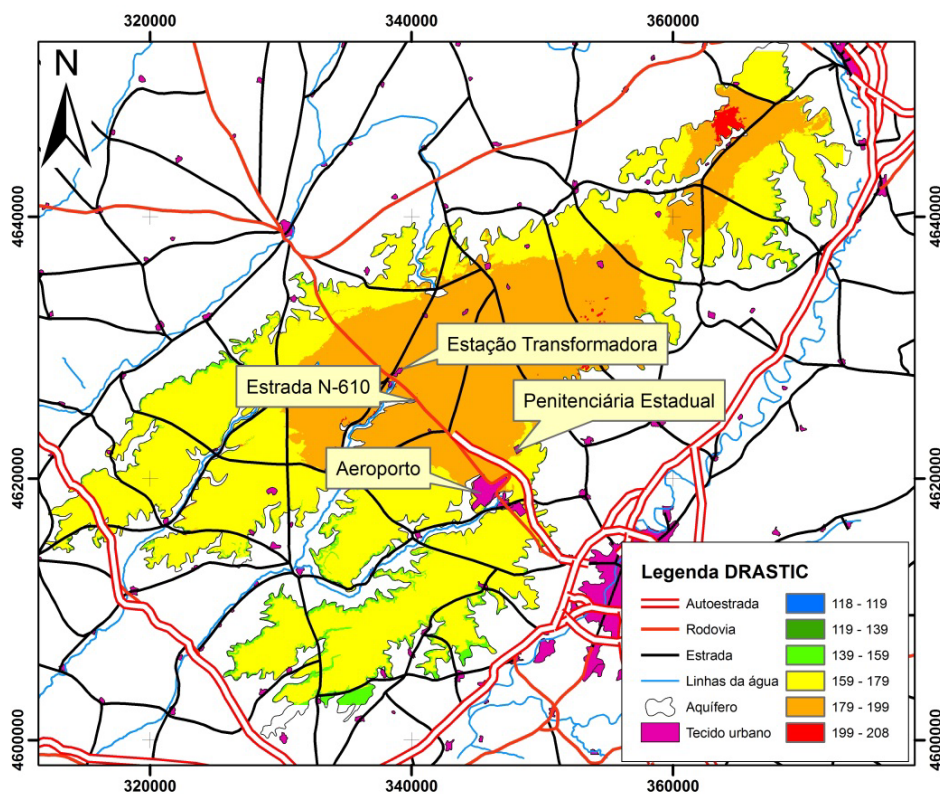


Figura 2: Mapa DRASTIC – aquífero de los Monte Torozos.

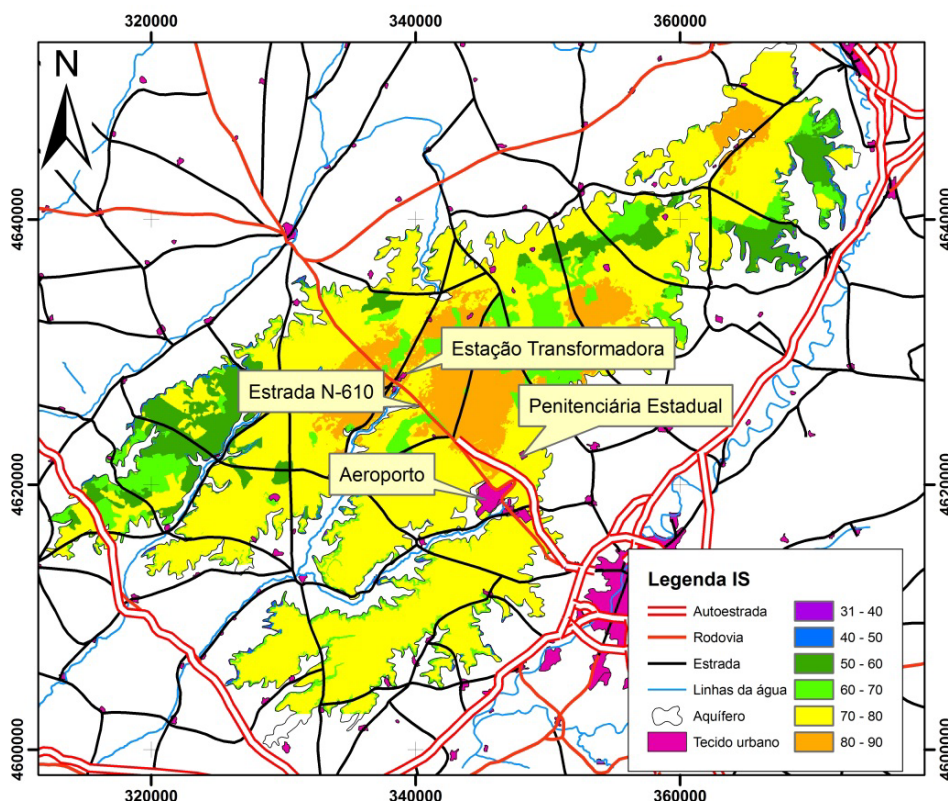


Figura 3: Mapa IS – aquífero de los Monte Torozos.

RESULTADOS

Los mapas obtenidos, a través del cálculo de los índices DRASTIC e IS, permite visualizar los *clusters* con mayor actividad antropogénica (Figuras 2 y 3). La mayor vulnerabilidad está asociada con la implantación en el páramo del aeropuerto (Aeropuerto de Valladolid-Villanubla y "Base aérea de Villanubla"), la subestación de transformación eléctrica de la Mudarra, el Centro Penitenciario Valladolid, y la autovía A-60 (antigua carretera N-610). La proximidad y el emplazamiento de todas estas infraestructuras, exige realizar estudios de vulnerabilidad detallados dentro de los planes de ordenamiento o de las directrices de articulación territorial. Estas políticas deben encaminarse a la consecución del desarrollo sostenible de la gestión, especialmente en lo relativo a la gestión de los recursos hidrogeológicos, tratando de reducir los impactos ambientales, regulando las principales actividades socioeconómicas del entorno, tales como agricultura, ganadería o desarrollo urbano.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista metodológico, el cálculo de los índices aplicados no presenta grandes variaciones, sin embargo, los resultados son significativamente diferentes, como era esperado. La introducción de la componente antrópica de usos de suelo, permitió analizar pormenorizadamente la distribución espacial de las principales actividades humanas. De esta forma, se pudieron delimitar las zonas frías y calientes desde el punto de vista de la vulnerabilidad frente a procesos contaminantes del acuífero. Esto supone, que los mapas obtenidos constituyen una poderosa herramienta en la optimización y la gestión de los recursos, y pueden apoyar la toma de decisiones futuras acerca del planeamiento de los recursos hidrogeológicos de esta región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLER L., BENNET T., LEHR J.H., PETTY R.J., HACKETT G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. Environmental Protection Agency EPA/600/2-87/035, Oklahoma, 641 pp, 1987.
2. CONFEDERACIÓN HIDROLÓGICA DEL DUERO, 2009. Plan Hidrológico de la Cuenca del Duero. Disponible en: http://www.mirame.chduero.es/DMAduero_09/masaSubterraneaDatosGral.faces. Último acceso: 20/10/2014.
3. CONSEJO EUROPEO. 2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo del Consejo, 23 de Octubre de 2000, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L 327/1.
4. ESRI, 2014 Arc-Gis 9. ArcMap Totorial. Disponibel: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=tutorials>. Último acceso 27/10/2014.
5. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2012. Coordination of Information on the Environment Project (CORINE). Disponible en: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/#c11=landuse&c17=&c5=all&c0=5&b_start=0&c12=CORINE [Consultado: 17/11/2012].
6. RIBEIRO L., SERRA E., PARALTA E., NASCIMENTO J, 2003. Nitrate pollution in hard rock formations: vulnerability and risk evaluation of geomathematical methods in Serpa-Brinches aquifer (South Portugal). Krasny, J., Hrkal, Z., Bruthans, J. (Eds), Proceedings of International Conference on Groundwater in Fractured Rocks: 377-378.
7. SANZ G., ALBUQUERQUE M.T.D., MARTÍNEZ-ALEGRÍA R., ANTUNES I.M.H.R., TABOADA J, 2014. Hydrogeological vulnerability assessment in Urban systems, Spain. International Journal of Environmental Science and Development (IJESD). In review.
8. SANZ G, 2014. Modelo y simulación hidrogeológica para la sostenibilidad del acuífero libre de los Montes Torozos. Tese de Doutoramento em Ciências Ambientais. Universidade de Vigo (Espanha). Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=42524>.
9. SIEMCALSA. Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León, S.A. 1997. Mapa Geológico y Minero de Castilla y León a escala 1:400.000. SIEMCALSA, Valladolid. ISBN 84-7846-643-6.